

Ю.О. Абрамов, В.О. Собина

Національний університет цивільного захисту України, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПЕРАТОРА МОБІЛЬНОЇ ПОЖЕЖНОЇ УСТАНОВКИ В ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ

Для визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки побудовані математичні залежності, в основі яких лежить використання частотних характеристик оператора. Значення частотних характеристик оператора визначаються на апіорі заданій частоті і використовуються в якості початкових даних. Представлений алгоритм визначення параметрів оператора мобільної пожежної установки.

**Ключові слова:** оператор, пожежна установка, динамічні параметри.

### Постановка проблеми

Мобільні засоби пожежогасіння мають тенденцію до більш широкого використання. Слід відмітити, що вирішальну роль при гасінні пожежі в соборі Нотр – Дам (квітень 2019р) зіграла мобільна пожежна установка «Colossus» фірми Shark Robotiks (Франція) [1]. Перспективними засобами пожежогасіння є мобільні установки на базі сігвеїв [2], управління яких здійснюється оператором. Ефективне гасіння пожежі такими установками в значному ступені залежить від узгодженості характеристик мобільної установки та оператора [3]. В зв'язку із цим виникає необхідність в створенні адекватних математичних моделей оператора таких пожежних установок або в ідентифікації параметрів вже відомих моделей. При експлуатації мобільних пожежних установок може виникати необхідність в тестуванні операторів. В цьому випадку може використовуватись інформація стосовно динамічних параметрів оператора, до яких належать час запізнення та постійна часу. У зв'язку із цим однією із проблем стосовно до мобільних пожежних установок є підвищення рівня їх ефективності за рахунок використання адекватного математичного опису діяльності операторів таких установок.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Мобільні пожежні установки на базі сігвеїв знаходяться на початковій стадії їх використання [4]. Варіант побудови установки пожежогасіння, приведений в [2], передбачає її дистанційне управління, що накладає специфічні вимоги до її операторів. В [5,6] представлені варіанти побудови мобільних пожежних установок на базі сігвеїв, які передбачають безпосередню участь оператора в

управлінні таких установок пожежогасіння. Для таких випадків в [7] наведені алгоритм та результати визначення часу запізнення та постійної часу оператора, які одержані експериментальним шляхом. Визначення динамічних параметрів оператора здійснюється в частотній області. Визначення цих динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки можливо в частотній області, але алгоритм їх визначення в цьому випадку орієнтований на необхідність використання алгебраїчного рівняння четвертого порядку [8]. Для визначення параметрів такого алгебраїчного рівняння необхідно визначити величини амплітудно – частотної та фазово – частотної характеристик оператора на чотирьох апіорі заданих частотах. Це дає підстави для проведення досліджень, спрямованих на розробку спрощеного алгоритму визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки в частотній області.

### Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка спрощеного алгоритму визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки в частотній області.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- одержати функціональну залежність між динамічними параметрами оператора мобільної пожежної установки;
- одержати аналітичну залежність постійної часу оператора мобільної пожежної установки від його частотної характеристики на апіорі заданій частоті;
- побудувати спрощений алгоритм визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки.

### Виклад основного матеріалу

Передаточна функція оператора мобільної пожежної установки описується виразом [9]

$$W(p) = K \exp(-p\tau_0)(\tau_1 p + 1)^{-1}, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт передачі;  $\tau_0, \tau_1$  – час запізнення та постійна часу відповідно;  $p$  – комплексна змінна.

Цій передаточній функції відповідає амплітудно – фазова частотна характеристика оператора, вираз якої має вигляд

$$W(j\omega) = K \exp(-j\omega\tau_0)(1 + j\omega\tau_1)^{-1}, \quad (2)$$

де  $\omega$  – кругова частота;  $j$  – уявна одиниця.

Якщо врахувати співвідношення [10]

$$\exp(-j\omega\tau_0) = \cos \omega\tau_0 - j\sin \omega\tau_0, \quad (3)$$

то вираз (2) буде трансформований до виразу

$$W(j\omega) = M(\omega) + jN(\omega), \quad (4)$$

де

$$M(\omega) = K(\cos \omega\tau_0 - \omega\tau_1 \sin \omega\tau_0) \times [1 + (\omega\tau_1)^2]^{-1}; \quad (5)$$

$$N(\omega) = -K(\sin \omega\tau_0 + \omega\tau_1 \cos \omega\tau_0) \times [1 + (\omega\tau_1)^2]^{-1}. \quad (6)$$

Запишемо вираз для  $W(j\omega)$  в показовій формі, тобто

$$W(j\omega) = A(\omega) \exp[j\varphi(\omega)], \quad (7)$$

де

$$A(\omega) = \text{abs}W(j\omega); \quad \varphi(\omega) = \text{arg} W(j\omega), \quad (8)$$

що із використанням співвідношення

$$\exp[j\varphi(\omega)] = \cos \varphi(\omega) + j\sin \varphi(\omega) \quad (9)$$

приводить до іншої форми запису виразів (5) та (6)

$$M(\omega) = A(\omega) \cos \varphi(\omega); \quad (10)$$

$$N(\omega) = A(\omega) \sin \varphi(\omega). \quad (11)$$

В цих виразах  $A(\omega)$  – амплітудно – частотна характеристика, а  $\varphi(\omega)$  – фазово – частотна характеристика оператора мобільної пожежної установки.

Після об'єднання (5),(6) та (10),(11) будемо мати

$$1 + (\omega\tau_1)^2 = (\cos \omega\tau_0 - \omega\tau_1 \sin \omega\tau_0) \times \cos \varphi(\omega) = -(\sin \omega\tau_0 + \omega\tau_1 \cos \omega\tau_0) \times \sin \varphi(\omega). \quad (12)$$

При врахуванні співвідношень [10]

$$\cos \omega\tau_0 \sin \varphi(\omega) + \sin \omega\tau_0 \cos \varphi(\omega) = \sin[\omega\tau_0 + \varphi(\omega)]; \quad (13)$$

$$\cos \omega\tau_0 \cos \varphi(\omega) - \sin \omega\tau_0 \sin \varphi(\omega) = \cos[\omega\tau_0 + \varphi(\omega)] \quad (14)$$

вираз (12) трансформується наступним чином

$$\text{tg}[\omega\tau_0 + \varphi(\omega)] = -\omega\tau_1. \quad (15)$$

Цей вираз при апіорі заданій частоті  $\omega$ , на якій визначається (вимірюється) величина фазово – частотної характеристики  $\varphi(\omega)$  оператора мобільної пожежної установки, установлює залежність між параметрами  $\tau_0$  та  $\tau_1$ . На рис.1 наведений приклад такої залежності для  $\omega = 3,0\text{c}^{-1}$  та  $\varphi(\omega) = -1,33$ .

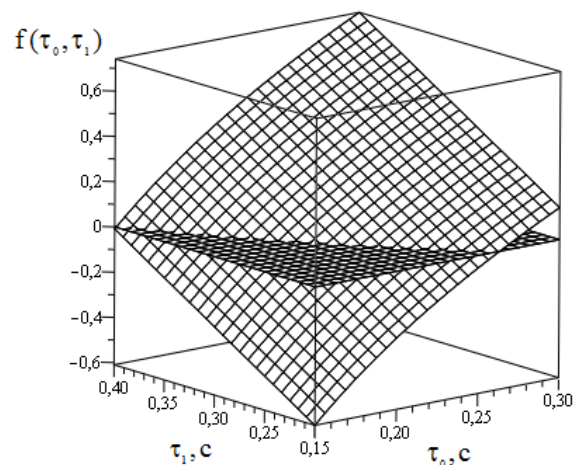


Рис.1. До визначення залежності між динамічними параметрами  $\tau_0$  та  $\tau_1$  оператора.

Така залежність утворюється лінією перетинання поверхні, яка описується виразом

$$f(\tau_0, \tau_1) = \text{tg}[\omega\tau_0 + \varphi(\omega)] + \omega\tau_1, \quad (16)$$

та площиною нульового рівня.

Для визначення динамічного параметра  $\tau_1$  – постійної часу скористуємось залежністю

$$A(\omega) = \text{abs}W(j\omega) = [M^2(\omega) + N^2(\omega)]^{0,5}, \quad (17)$$

яка після врахування (5) та (6) приймає вигляд

$$A(\omega) = K[1 + (\omega\tau_1)^2]^{0,5}. \quad (18)$$

Із (18) витікає вираз для визначення параметра  $\tau_1$

$$\tau_1 = \omega^{-1} \left[ [KA^{-1}(\omega)]^2 - 1 \right]^{0,5}, \quad (19)$$

тобто цей параметр визначається на апіорі заданій частоті  $\omega$ , на якій здійснюється визначення (вимірювання) величини амплітудно – частотної характеристики  $A(\omega)$  оператора мобільної пожежної установки. Величина коефіцієнта передачі  $K$  оператора визначається в статичних умовах.

Алгоритм визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки зводиться до наступного:

- визначається величина коефіцієнта передачі  $K$  оператора або приймається в якості першого наближення його нормативне значення;
- на заданій частоті  $\omega$  визначаються (вимірюються) величини амплітудно – частотної  $A(\omega)$  та фазово – частотної  $\varphi(\omega)$  характеристик оператора;
- згідно із виразом (19) визначається величина динамічного параметра  $\tau_1$  оператора;
- здійснюється рішення трансцендентного рівняння (15), коренем якого є величина динамічного параметра  $\tau_0$  оператора. При знаходженні величини динамічного параметра  $\tau_0$  оператора може бути використана графічна інтерпретація залежності (15). Для цього використовується функція (16), яка перетинається площиною на нульовому рівні.

Приклад. На частоті  $\omega = 3,0\text{с}^{-1}$  по результатам вимірювань значень частотних характеристик оператора має місце  $\varphi(3,0) = -1,33\text{с}^{-1}$ ;  $A(3,0) = K(1,81)^{-0,5}$ . Згідно (19)  $\tau_1 = 0,3\text{с}$ . Згідно рис.1 величині  $\tau_1 = 0,3\text{с}$  відповідає величина  $\tau_0 = 0,2\text{с}$ .

Реалізація такого алгоритму визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки потребує використання значень його частотних характеристик на єдиній апіорі заданій частоті. У порівнянні із алгоритмом, який наведено в [8], має місце зменшення кількості апіорі заданих частот в чотири рази, що забезпечує спрощення алгоритму визначення динамічних параметрів оператора.

## Висновки

1. Із використанням частотних характеристик оператора мобільної пожежної установки одержана функціональна залежність між його динамічними параметрами – часом запізнення та постійною часу, яка виражена через тригонометричну функцію.

2. Одержана аналітична залежність між постійною часу оператора мобільної пожежної установки та його амплітудно – частотною характеристикою, параметрами якої є частота та коефіцієнт передачі оператора.

3. Побудований спрощений алгоритм визначення динамічних параметрів оператора мобільної пожежної установки, спрощення якого забезпечується за рахунок зменшення кількості частот (до однієї) для створення початкових даних у вигляді значень частотних характеристик оператора на цих частотах.

## Література

1. Paris Firefighters Used This Remote-Controlled Robot to Extinguish the Notre Dame Blaze. Режим доступу: <https://spectrum.ieee.org/colossus-the-firefighting-robot-that-helped-save-notre-dame>.
2. Segway-like robots designed to help firefighters and save lives. Режим доступу: <https://newatlas.com/firefighting-robot-ffr/27849/>
3. Matheson E., Minto R., Zampieri E., Faccio M., Rosati G. Human-Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review // *Robotics*. 2019. Vol. 8(4):100. Doi: <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>.
4. Горбань Ю.И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране / Ю.И. Горбань. – М.: Пожнаука, 2013. – 352 с.
5. Пат. 119180 Україна, МПК А62С 27/00, А62С 37/00. Мобільна пожежна установка / Абрамов Ю.О., Тищенко С.О., Собина В.О., власник Національний університет цивільного захисту України. - № 201704071, заяв. 24.04.2017; опубл. 11.09.2017; Бюл. №17.
6. Пат. 124928 Україна, МПК А62С 27/00, А62С 37/00. Мобільна пожежна установка / Абрамов Ю.О., Собина В.О., Тищенко С.О., Хижняк А.А., власник Національний

університет цивільного захисту України. - № 201711464, заяв. 23.11.2017; опубл. 25.04.2018; Бюл. №8.

7. Собина В. А. *Определение параметров модели оператора мобильной пожарной установки* / В.А. Собина, А.А. Хижняк, Ю.А. Абрамов // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2019. – Вып. 45. – С. 161-166. Режим

доступу: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol45/Sobina.pdf>

8. Abramov, Y., Basmanov, O., Sobyna, V., Sokolov, D., Rahimov. S. (2022). *Developing a method for determining the time parameters of a mobile fire extinguisher operator*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 93–99. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266825>

9. Собина В. О. *Обґрунтування вибору параметрів каналу управління кутовим положенням форсунки мобільної пожежної установки* / В.О. Собина, А.А. Хижняк, Ю.О. Абрамов // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2020. – Вып. 47. – С. 120-126. Режим доступу:

<https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb47/18.pdf>

10. Корн Г. *Справочник по математике* / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720с.

### References

1. Paris Firefighters Used This Remote-Controlled Robot to Extinguish the Notre Dame Blaze. Retrieved from: <https://spectrum.ieee.org/colossus-the-firefighting-robot-that-helped-save-notre-dame>.
2. Segway-like robots designed to help firefighters and save lives. Retrieved from: <https://newatlas.com/firefighting-robot-ffr/27849/>
3. Matheson E., Minto R., Zampieri E., Faccio M., Rosati G. (2019) Human-Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review. *Robotics*. Vol. 8(4):100. Doi: <https://doi.org/10.3390/robotics8040100>.
4. Gorban Yu.I. (2013) *Pozharnyie roboty i stvolnaya tehnika v pozharной avtomatike i pozharной ohrane*. М.: Pozhnauka, 352 p.
5. Abramov Yu.O., Tischenko E.O., Sobina V.O. (2017) Pat. 119180 UkraYina, МРК А62S 27/00, А62S 37/00. Мобільна пожежна установка, власник Natsionalniy unIversitet tsivIl'nogo zahistu UkraYini. - # 201704071, заяв. 24.04.2017; opubl. 11.09.2017; Byul. #17.
6. Abramov Yu.O., Sobina V.O., Tischenko E.O., Hizhnyak A.A. (2018) Pat. 124928 UkraYina, МРК А62S 27/00, А62S 37/00. Мобільна пожежна установка, власник Natsionalniy

unIversitet tsivIl'nogo zahistu UkraYini. - # 201711464, заяв. 23.11.2017; opubl. 25.04.2018; Byul. #8.

7. Sobina V. A., Hizhnyak A. A., Abramov Yu. A. (2019) Determination of parameters of the model of the operator of a mobile fire installation. *Problems of Fire Safety*. Vol. 45. P. 161-166. Retrieved from:

<https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol45/Sobina.pdf>

8. Abramov, Y., Basmanov, O., Sobyna, V., Sokolov, D., Rahimov. S. (2022). Developing a method for determining the time parameters of a mobile fire extinguisher operator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (2 (120)), 93–99. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.266825>

9. Sobina V. O., Hizhnyak A. A., Abramov Yu. O. (2020) Justification for the selection of the parameters of the nozzle of a mobile fire installation. *Problems of Fire Safety*. Vol. 47. P. 120-126. Retrieved from: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb47/18.pdf>

10. Korn G., Korzn T. (1968) *Spravochnik po matematike*. М.: Nauka, 720 p.

**Рецензент:** д.т.н., професор, головний науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру О.Є. Басманов, Національний університет цивільного захисту України, Україна.

**Автор:** АБРАМОВ Юрій Олександрович  
доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру Національний університет цивільного захисту України  
E-mail - [abramov121146@gmail.com](mailto:abramov121146@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7901-3768>

**Автор:** СОБИНА Віталій Олександрович  
кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри організації та технічного забезпечення аварійно – рятувальних робіт Національний університет цивільного захисту України  
E mail - [sobol\\_84@ukr.net](mailto:sobol_84@ukr.net)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6908-8037>

## DETERMINATION OF THE DYNAMIC PARAMETERS OF THE MOBILE FIRE STATION OPERATOR IN THE FREQUENCY DOMAIN

Y. Abramov, V. Sobyna

National University of Civil Defense of Ukraine, Ukraine

*Determination of the dynamic parameters of the operator of the mobile fire apparatus is based on the use of its amplitude-frequency and phase-frequency characteristics, the value of which is used at a priori set frequency. The value of these frequency characteristics of the operator of the mobile fire apparatus is used as initial data.*

*Using the exponent and trigonometric form of the expression for the complex transfer function of the operator of the mobile fire apparatus, the functional dependence between its phase-frequency characteristic and dynamic parameters - the delay time and the operator's time constant - was obtained. This functional dependence is given in the form of two additive components, one of which is represented by a trigonometric function, the argument of which is the value of the phase-frequency characteristic of the operator and its delay time. The second additive component is a function of the time constant of the operator. The constructed functional dependence is used to determine the delay time of the operator of the mobile fire apparatus, provided that*

another dynamic parameter - the time constant - is determined using the amplitude-frequency characteristic of the operator and the normative value of its transmission coefficient. A graphical interpretation is given for the constructed functional dependence, which can be used as a component of the algorithm when determining the dynamic parameters of the operator of a mobile fire extinguisher.

The algorithm for determining the dynamic parameters of the operator of a mobile fire installation is presented, which is presented in verbal form. The developed algorithm for determining the dynamic parameters of the operator of the mobile fire apparatus during its implementation involves the use of a graphical interpretation of the functional dependence between the delay time and the time constant of the operator of the mobile fire apparatus.

The presented algorithm differs from the known ones by the simplicity of its implementation, which is ensured by reducing the number of a priori frequencies used to determine the values of the frequency characteristics by four times. An example of the implementation of the algorithm for determining the dynamic parameters of the operator of a mobile fire installation is given.

**Key words:** operator, fire installation, dynamic parameters.